

田间施药对拟环纹豹蛛羧酸酯酶和乙酰胆碱酯酶分布及活性的影响

王 智^{1,2}, 付秀芹³, 宋大祥^{1*}, 颜亨梅³

(1. 河北大学生命科学学院, 河北保定 071002; 2. 湖南文理学院生命科学系, 湖南常德 415000;
3. 湖南师范大学生命科学学院, 长沙 410081)

摘要: 利用紫外分光光度法, 对化学防治田(化防田)和生物防治田(生防田)中的拟环纹豹蛛 *Pardosa pseudoannulata* 体内乙酰胆碱酯酶(AChE)和羧酸酯酶(CarE)的分布及其活性进行了比较研究。结果表明, 生防田拟环纹豹蛛身体各分部的 AChE 活性[包括头胸部 1.251 nmol/(mg·min)、腹部 0.467 nmol/(mg·min)和附肢 0.760 nmol/(mg·min)]均高于化防田蜘蛛[包括头胸部 0.895 nmol/(mg·min)、腹部 0.445 nmol/(mg·min)和附肢 0.724 nmol/(mg·min)], 而生防田豹蛛的 CarE 活性[包括头胸部 0.122 nmol/(mg·min)、腹部 0.593 nmol/(mg·min)和附肢 0.073 nmol/(mg·min)]均低于化防田蜘蛛[包括头胸部 0.158 nmol/(mg·min)、腹部 0.708 nmol/(mg·min)和附肢 0.115 nmol/(mg·min)], 说明化防田拟环纹豹蛛产生了一定程度的抗药性。拟环纹豹蛛体内的 AChE 主要集中在头胸部, CarE 主要集中在腹部, 这种分布特征是与其抗药性机制相适应的, 并对其抗药性机制的形成做出了初步解释。这些结果也提示, 拟环纹豹蛛对甲胺磷等农药的抗性不能在短期内形成, 必须经历水稻→害虫→蜘蛛的较长的适应演化过程。

关键词: 拟环纹豹蛛; 乙酰胆碱酯酶; 羧酸酯酶; 抗药性; 化学防治; 生物防治

中图分类号: Q965 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2006)02-0260-05

Effect of low-dose chemical pesticides on distribution and activity of carboxylesterase and acetylcholinesterase in the wolf spider, *Pardosa pseudoannulata* (Araneae: Lycosidae)

WANG Zhi^{1,2}, FU Xiu-Qin³, SONG Da-Xiang^{1*}, YAN Heng-Mei³ (1. College of Life Sciences, Hebei University, Baoding, Hebei 071002, China; 2. Department of Biology, Hunan Arts and Science University, Changde, Hunan 415000, China; 3. College of Life Sciences, Hunan Normal University, Changsha, Hunan 410081, China)

Abstract: By using ultraviolet spectroscopy, a comparative study was made on the distribution and activities of carboxylesterase (CarE) and acetylcholinesterase (AChE) in *Pardosa pseudoannulata* collected from different rice fields, pest-controlled chemically or biologically. The results showed that the activity of AChE in any part of the body, including cephalothorax with the corresponding value 1.251 nmol/(mg·min), abdomen 0.467 nmol/(mg·min) and appendages 0.760 nmol/(mg·min), of *P. pseudoannulata* from biologically controlled rice field was higher than that (including cephalothorax with the corresponding value 0.895 nmol/(mg·min), abdomen 0.445 nmol/(mg·min) and appendages 0.724 nmol/(mg·min)) in the spiders from chemically controlled rice field. On the contrary, the activity of CarE in every subsection of the spiders, including cephalothorax with the corresponding value 0.158 nmol/(mg·min), abdomen 0.708 nmol/(mg·min) and appendages 0.115 nmol/(mg·min), from chemically controlled rice field was higher than that (including cephalothorax with the corresponding value 0.122 nmol/(mg·min), abdomen 0.593 nmol/(mg·min) and

基金项目: 国家自然科学基金项目(30300041)

作者简介: 王智, 男, 1968年9月生, 湖南邵阳人, 博士, 副教授, 主要从事生态学和害虫生态调控研究, Tel.: 13087361755, Fax: 0736-7186128; E-mail: wangzspider@sina.com.cn; 王智和付秀芹同为第一作者 Equal contributions were made by WANG Zhi and FU Xiu-Qin

* 通讯作者 Author for correspondence, Tel.: 0312-5079627; E-mail: dxsong@mail.hbu.edu.cn

收稿日期 Received: 2005-05-23; 接受日期 Accepted: 2005-12-02

appendages $0.073 \text{ nmol}/(\text{mg} \cdot \text{min})$) in the spiders from biologically controlled rice field. This proved that the spider developed a certain degree of resistance for pesticide in chemically controlled rice field. AChE distributed mainly in the cephalothorax of spiders, while CarE was mainly found in abdomen. This distribution pattern was fit for the mechanism of resistance to pesticide, which was tentatively explored in this paper. The results also suggested that the resistance of *P. pseudoannulata* to methamidophos was unlikely to be formed within in a short period of time, and there must exist a long period of adaptation of rice to pests and pests to spiders.

Key words: *Pardosa pseudoannulata*; acetylcholinesterase; carboxylesterase; resistance to pesticide; chemical control; biological control

羧酸酯酶(carboxylesterase, CarE)是节肢动物体内重要的解毒酶系之一,在节肢动物产生抗药性过程中起着重要的作用(李飞等, 2003; 刘泽文和韩召军, 2003)。乙酰胆碱酯酶(acetylcholinesterase, AChE)参与节肢动物神经冲动的传递,同时亦是有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂的作用靶标(Fournier and Mutero, 1994; 李飞等, 2003; 刘泽文和韩召军, 2003; 刘波等, 2003)。AChE 的敏感度降低是节肢动物对有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂产生抗性的重要机理之一(唐振华, 1993; Gunning *et al.*, 1998; 李飞等, 2003; 刘泽文和韩召军, 2003; 刘波等, 2003),该酶系的突变可引起对化学杀虫剂敏感性降低,导致节肢动物耐药能力增强或抗性水平增加。

拟环纹豹蛛 *Pardosa pseudoannulata* 是稻田蜘蛛中的主要优势种群,在控制害虫和发展无公害农业中起着重要的作用(Nyffeler and Bentz, 1987)。化学防治为作物带来增产的同时,也给蜘蛛等害虫天敌造成了危害(胡自强等, 2000)。为减少农药对天敌的伤害,因此测定不同防治田蜘蛛体内 CarE 与 AChE 的体躯分布及其活性特征,为正确协调各种防治措施,提高蜘蛛等天敌对杀虫剂的抗药性等方面提供一些重要的有意义的信息。

1 材料与方法

1.1 供试蜘蛛

拟环纹豹蛛分别采自湖南长沙天顶乡生物防治稻田(生防田)及长沙望城雷锋镇长期施用有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂为主的化学防治稻田(化防田)。

1.2 化学试剂

碘化硫代乙酰胆碱(ATCh)和考马斯亮蓝 G-250 为 Fluka 公司产品; 5,5'-二硫双硝基苯甲酸(DTNB)为 Roth 公司产品; 毒扁豆碱(化学纯)为上海化工总

厂产品; α -乙酸萘酯(α -NA)和 α -萘酚(分析纯)为北京化工厂产品; 十二烷基磺酸钠(SDS)和坚固蓝 B 盐为 Sigma 公司产品; 50% 甲胺磷乳剂由湖南农业大学生物安全科技学院提供; 其他试剂均为国产分析纯。

1.3 酶源提取与制备

在生防田和化防田的同一生境中分别取大小相近的 6 头幼蛛和雌、雄成蛛各 3 头,饥饿 2 天,然后将其分为头胸部、腹部和附肢 3 部分,取各部分置于 1 mL 的 0.067 mol/L 磷酸缓冲液(pH 8.0)中冰浴匀浆,匀浆液于高速冷冻离心机中以 $4\ 000 \text{ r/min}$ ($0 \sim 4^\circ\text{C}$)离心 15 min,取上清液作为酶源。

1.4 生防田中拟环纹豹蛛的药物处理

用移液枪取 0.15 mL 的低剂量甲胺磷溶液(原药:水 = 4:5 000)点滴在蜘蛛的胸板前部,施药后 48 h,按上述方法提取其酶液。

1.5 AChE 活力测定

参照高希武(1987)方法。 0.1 mL 的酶液加入 0.7 mL 0.067 mol/L 的 PBS 缓冲液,再加 0.1 mL $8.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ 的 ATCh, 30°C 下反应 30 min, 尔后加入 0.3 mL $1 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ 的毒扁豆碱和 1.8 mL 0.01 mol/L DTNB-磷酸盐乙醇显色剂(12.4 mg DTNB、 120 mL 96%乙醇和 80 mL 蒸馏水以 0.2 mol/L pH 7.5 PBS 缓冲液定容至 250 mL)终止反应,于 412 nm 处测定 OD 值。每处理重复 3 次。

1.6 CarE 活力测定

参照 Hama 和 Hosoda (1983)及罗万春和张强(2003)的方法。反应总体积为 3.0 mL 。 0.05 mL 的酶液加入 0.45 mL 0.2 mol/L PBS 缓冲液(pH 7.5), 再加 2.0 mL $3 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 的 α -醋酸萘酯, 30°C 下反应 30 min。 尔后加 0.5 mL DBLS 显色剂(1% 坚固蓝 B 盐与 5% 十二烷基磺酸钠在使用前以 2:5 混合), 15 min 后在波长 600 nm 处测定 OD 值。每处理重复 3 次。

1.7 可溶性蛋白含量测定

参照 Bradford (1976) 的方法,用考马斯亮蓝 G-250 法测定各酶液中可溶性蛋白含量。以牛血清白蛋白制作标准曲线。

2 结果与分析

2.1 AChE 在拟环纹豹蛛体内的分布及活性比较

生防田中拟环纹豹蛛幼蛛、雌成蛛和雄成蛛头胸部的 AChE 活性分别占各自总活性的 50.48%、43.89%和 46.47% 附肢的 AChE 活性分别占各自总活性的 30.67%、33.55%和 28.72% ;腹部的 AChE 活性分别占各自总活性的 18.85%、22.56% 和 24.81% (表 1)。

化防田中拟环纹豹蛛幼蛛、雌成蛛和雄成蛛头胸部的 AChE 活性分别占各自总活性的 43.36%、39.79%和 42.39% 附肢的 AChE 活性分别占各自总活性的 35.08%、37.89%和 29.56% ;腹部的 AChE 活性分别占各自总活性的 21.56%、22.39% 和 28.05% (表 1)。

室内施药后 48 h 拟环纹豹蛛幼蛛、雌成蛛和雄成蛛头胸部的 AChE 活性分别占各自总活性的 39.37%、44.73%和 42.39% 附肢的 AChE 活性分别

占各自总活性的 30.77%、29.15%和 30.98% ;腹部的 AChE 活性分别占各自总活性的 29.91%、26.11% 和 26.63% (表 1)。

从表 1 还可知,无论是生防田蜘蛛、化防田蜘蛛还是室内被短暂施以低剂量农药的生防田蜘蛛,无论是蜘蛛幼体还是雌、雄成体,AChE 活性都以头胸部最高,附肢次之,腹部最低,这主要是由于头胸部是蜘蛛的神经中枢集中地,AChE 参与调节神经递质乙酰胆碱(Ach)传导的结果。从上述结果还可发现,化防田中拟环纹豹蛛的 AChE 总活性及各分部的 AChE 活性均低于生防田中蜘蛛的 AChE 活性,这说明化防田中蜘蛛体内 AChE 活性的降低可能使其对甲胺磷及氨基甲酸酯类杀虫剂产生了某种程度的抗药性。在室内对生防田中的拟环纹豹蛛幼体,雌、雄成体施以低剂量农药后 48 h,与生防田中的蜘蛛比较,施药后除幼蛛腹部的 AChE 活性有所增加外,其他均有不同程度的下降,施药后尤以雄蛛头胸部 AChE 的活性下降最为明显,其酶活性指数仅为生防田幼蛛的 0.487 倍。可见无论有没有施药以及施药时间长短,拟环纹豹蛛体内 AChE 活性的体躯分布总体规律均未发生改变,但化学农药的使用均能抑制 AChE 的活性。

表 1 乙酰胆碱酯酶比活力 [nmol/(mg·min)] 的分部测定
Table 1 Measurement of specific activity of acetylcholinesterase (AChE) (nmol/mg·min) in different parts of the body of *Pardosa pseudoannulata*

	总活性	活性指数	头胸部	活性指数	腹部	活性指数	附肢	活性指数
	Total activity	Index	Cephalothorax	Index	Abdomen	Index	Appendage	Index
SY	2.478 ± 0.013 a	1	1.251 ± 0.021 a	1	0.467 ± 0.006 a	1	0.760 ± 0.007 a	1
RY	2.064 ± 0.012 b	0.833	0.895 ± 0.006 b	0.715	0.445 ± 0.002 a	0.935	0.724 ± 0.005 a	0.953
PY	1.745 ± 0.008 c	0.704	0.687 ± 0.005 c	0.549	0.522 ± 0.008 b	1.118	0.537 ± 0.005 b	0.707
S♀	2.274 ± 0.016 d	1	0.998 ± 0.008 d	1	0.513 ± 0.003 b	1	0.763 ± 0.007 a	1
R♀	1.425 ± 0.005 e	0.627	0.567 ± 0.002 e	0.568	0.319 ± 0.002 c	0.622	0.540 ± 0.003 b	0.708
P♀	1.348 ± 0.006 e	0.593	0.603 ± 0.004 e	0.604	0.352 ± 0.001 c	0.686	0.393 ± 0.002 c	0.515
S♂	2.068 ± 0.011 b	1	0.961 ± 0.006 b	1	0.513 ± 0.005 b	1	0.594 ± 0.003 d	1
R♂	1.715 ± 0.007 c	0.829	0.727 ± 0.003 c	0.757	0.481 ± 0.002 a	0.938	0.507 ± 0.001 b	0.854
P♂	1.104 ± 0.005 f	0.534	0.468 ± 0.001 f	0.487	0.294 ± 0.001 c	0.573	0.342 ± 0.001 e	0.576

注 Notes :SY、RY 和 PY 分别代表生防田幼蛛、化防田幼蛛和被施药的生防田幼蛛 SY, RY, and PY stand for the spiderings in biologically controlled field, in chemically controlled field and in biologically controlled field sprayed with pesticide, respectively ;S♀、R♀ 和 P♀ 分别代表生防田雌成蛛、化防田雌成蛛和被施药的生防田雌成蛛 S♀, R♀, and P♀ stand for the adult females in these three fields, respectively ;S♂、R♂ 和 P♂ 分别代表生防田雄成蛛、化防田雄成蛛和被施药的生防田雄成蛛 S♂, R♂, and P♂ stand for the adult males in these three fields, respectively ;表中同列数据后不同字母表示差异显著 Means followed by the same letters in the same column indicate that the values do not differ significantly (P<0.05). 下同 The same below.

2.2 CarE 在拟环纹豹蛛体内的分布及活性比较

生防田中拟环纹豹蛛的幼蛛和雌、雄成蛛腹部 CarE 的活性分别占各自总活性的 75.21%、72.66%和 71.05% 头胸部的 CarE 活性分别占各自总活性的 15.48%、17.97%和 20.70% 附肢的 CarE 活性分

别占各自总活性的 9.26%、9.53%和 8.25% (表 2)。

化防田中拟环纹豹蛛幼蛛和雌、雄成蛛腹部的 CarE 活性分别占各自总活性的 72.18%、73.47%和 71.92% 头胸部的 CarE 活性分别占各自总活性的 16.17%、16.44%和 21.08% 附肢的 CarE 活性分别

占各自总活性的 11.72%、10.20% 和 7.08% (表 2)。

室内施药幼蛛和雌、雄成蛛腹部的 CarE 活性分别占各自总活性的 72.18%、72.51% 和 70.87% ;头胸部的 CarE 活性分别占各自总活性的 16.17%、18.43% 和 19.42% ;附肢的 CarE 活性分别占各自总活性的 11.65%、8.76% 和 9.71% (表 2)。

无论是生防田蜘蛛、化防田蜘蛛还是室内短暂施药的蜘蛛,无论是蜘蛛幼体还是雌雄成体,CarE 活性均以腹部最高,头胸部次之,附肢最低。从表 2 还可看出,长期施药并未改变蜘蛛体内 CarE 活性的体躯分布规律,只是化防田蜘蛛体内 CarE 的总活性及每一分部 CarE 的活性均较生防田蜘蛛的高。尤其是化防田雄蛛每分部的活性均明显高于生防田雄蛛每分部的活性,其头胸部、腹部和附肢的 CarE 活性分别为生防田雄蛛的 2.322 倍、2.309 倍和 1.957 倍,这说明化防田拟环纹豹蛛确实产生了一定程度的抗药性,并且雄蛛的抗药性最强。而生防田蜘蛛

施低剂量农药后 48 h,其体躯分布总规律也没有发生改变,只是酶的总活性及每分部的酶活性明显低于未施药之前的活性(表 2)。与生防田蜘蛛比较,被施药蜘蛛幼体头胸部、腹部和附肢 CarE 活性分别仅为生防田蜘蛛的 0.353 倍、0.324 倍和 0.425 倍,被施药雌蛛头胸部、腹部和附肢 CarE 活性分别仅为生防田蜘蛛的 0.530 倍、0.516 倍和 0.475 倍,被施药雄蛛每分部 CarE 活性分别为生防田蜘蛛的 0.509 倍、0.541 倍和 0.638 倍,可见低剂量农药的施用可导致其体内解毒酶活性大大降低,这表明生防田拟环纹豹蛛不具抗药性,其抗药性的形成必须经历一个漫长的遗传积累过程。同时发现幼体阶段每分部的 CarE 活性几乎都高于成体相应分部的活性,如生防田幼蛛腹部 CarE 活性 [0.593 nmol/(mg·min)] 远高于生防田雌成蛛和雄成蛛腹部 CarE 的活性 [0.465 nmol/(mg·min) 和 0.405 nmol/(mg·min)]。

表 2 羧酸酯酶比活力 [nmol/(mg·min)] 的分部测定

Table 2 Measurement of specific activity of carboxylesterase (CarE) [nmol/(mg·min)] in different parts of the body of *Pardosa pseudoannulata*

	总活性	活性指数	头胸部	活性指数	腹部	活性指数	附肢	活性指数
	Total activity	Index	Cephalothorax	Index	Abdomen	Index	Appendage	Index
SY	0.788 ± 0.013 a	1	0.122 ± 0.007 a	1	0.593 ± 0.005 a	1	0.073 ± 0.001 a	1
RY	0.981 ± 0.011 b	1.245	0.158 ± 0.009 b	1.295	0.708 ± 0.008 b	1.194	0.115 ± 0.004 b	1.575
PY	0.266 ± 0.002 c	0.338	0.043 ± 0.001 c	0.353	0.192 ± 0.003 c	0.324	0.031 ± 0.001 c	0.425
S♀	0.640 ± 0.006 d	1	0.115 ± 0.005 a	1	0.465 ± 0.005 d	1	0.061 ± 0.001 d	1
R♀	0.882 ± 0.009 e	1.378	0.145 ± 0.009 b	1.261	0.648 ± 0.005 e	1.394	0.090 ± 0.002 e	1.475
P♀	0.331 ± 0.005 c	0.517	0.061 ± 0.001 d	0.530	0.240 ± 0.002 c	0.516	0.029 ± 0.001 c	0.475
S♂	0.570 ± 0.006 d	1	0.118 ± 0.007 a	1	0.405 ± 0.003 f	1	0.047 ± 0.002 f	1
R♂	1.300 ± 0.031 f	2.281	0.274 ± 0.010 e	2.322	0.935 ± 0.011 g	2.309	0.092 ± 0.002 e	1.957
P♂	0.309 ± 0.003 c	0.542	0.060 ± 0.001 d	0.509	0.219 ± 0.002 c	0.541	0.030 ± 0.001 c	0.638

3 讨论

无论生防田蜘蛛还是化防田蜘蛛,其体内各分部均含有较高活性的 AChE 和 CarE,但生防田拟环纹豹蛛 AChE 总活性及各分部的 AChE 活性均高于化防田蜘蛛,相反,化防田蜘蛛 CarE 总活性及蜘蛛各分部的 CarE 活性均高于生防田蜘蛛,说明化防田拟环纹豹蛛产生了一定程度的抗药性。据冯涛等 (2002)统计,国内外报道了 44 种天敌对于某一种或几种杀虫剂产生了抗药性。但至今未见有蜘蛛产生抗药性的报道,这对目前还无法完全停止使用杀虫剂的情况下,设法提高蜘蛛等天敌对杀虫剂的抗药性,使其得到更好的利用提供了理论依据。

拟环纹豹蛛 AChE 主要集中在头胸部,这与其他许多害虫的 AChE 的分布类似 (Melanson *et al.*, 1985 ; Xu and Bull, 1994 ; 姚洪渭等, 2001)。CarE 活性以腹部为高、头胸部次之,附肢最低,这与其目标害虫白背飞虱成虫体内 CarE 的分布类似 (姚洪渭等, 2001)。AChE 和 CarE 的这种分布特征是与其抗药性机制相适应的。蜘蛛的主要消化器官位于其腹部,在杀虫剂进入蜘蛛体内后,首先作用于腹部,腹部的 CarE 首先发挥解毒作用而将能到达作用部位的杀虫剂降低至最小剂量,而主要存在于头胸部的靶标酶,即 AChE 发生变异,则会导致与杀虫剂亲和力下降而最终逃避药剂的毒害作用。

用低剂量的甲胺磷在室内处理生防田拟环纹豹蛛,结果表明 CarE 和 AChE 的体躯分布总体规律未

发生改变,这种分布规律可能是由其种群的遗传机制决定的,但施药后 48 h,两种酶在每分部的活性均有较大幅度的降低,说明甲胺磷对这两种酶都有不同程度的抑制作用。同时也从另一侧面提示,拟环纹豹蛛对甲胺磷等农药的抗性不能在短期内完成,其抗药性机制的形成必须是在农药的胁迫下,通过水稻-害虫-蜘蛛的长期适应演化过程才能形成。

参考文献 (References)

- Bradford MM, 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72 : 248 – 254.
- Feng T, Peng Y, Liu FX, Fang M, Wang YC, 2002. Progress in pesticides resistance of natural enemies of pests. *Natural Enemies of Insects*, 24 (4) : 180 – 184. [冯涛, 彭宇, 刘凤想, 方满, 王荫长, 2002. 昆虫天敌抗药性研究进展. *昆虫天敌*, 24(4) : 180 – 184]
- Fournier D, Mutero A, 1994. Mini review : Modification of acetylcholinesterase as a mechanism of resistance to insecticides. *Comp. Biochem. Physiol.*, 108C (1) : 19 – 31.
- Gao XW, 1987. An introduction to Gorun *et al.* modified Ellman procedure for assay of cholinesterases. *Entomological Knowledge*, 24 (4) : 245 – 246. [高希武, 1987. Gorun 等改进的 Ellman 胆碱酯酶活性测定方法介绍. *昆虫知识*, 24(4) : 245 – 246]
- Gunning RV, Moores GD, Devonshire AL, 1998. Insensitive acetylcholinesterase and resistance to organophosphates in Australian *Helicoverpa armigera*. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 62 : 147 – 151.
- Hama H, Hosoda A, 1983. High aliesterase activity of the acetylcholinesterase sensitivity involved in organophosphorus and carbamate resistance of the brown planthopper. *Appl. Entomol. Zool.*, 18(4) : 475 – 485.
- Hu ZQ, Wang HQ, Lu ZY, 2000. Killing capability of some pesticides on dominant species spiders in rice field. *Acta Arachnol. Sin.*, 9 (2) : 112 – 115. [胡自强, 王洪全, 吕志跃, 2000. 几种化学农药对稻田优势种蜘蛛杀伤力的研究. *蛛形学报*, 9(2) : 112 – 115]
- Li F, Han ZJ, Tang B, 2003. Insensitivity of acetylcholinesterase and increased activity of esterase in the resistant cotton aphid, *Aphis gossypii*

- Glover. *Acta Entomol. Sin.*, 46 (5) : 578 – 583. [李飞, 韩召军, 唐波, 2003. 抗性品系棉蚜乙酰胆碱酯酶和羧酸酯酶的变异. *昆虫学报*, 46(5) : 578 – 583]
- Liu B, Gao XW, Zheng BZ, 2003. Effects of sublethal doses of anticholinesterase agents on toxicity of insecticides and their induction to acetylcholinesterase (AChE) activity in *Helicoverpa armigera*. *Acta Entomol. Sin.*, 46 (6) : 691 – 696. [刘波, 高希武, 郑炳宗, 2003. 抗胆碱酯酶剂亚致死剂量对棉铃虫毒力的影响及对乙酰胆碱酯酶的诱导作用. *昆虫学报*, 46(6) : 691 – 696]
- Liu ZW, Han ZJ, 2003. The roles of carboxylesterase and AChE insensitivity in malathion resistance development in brown planthopper. *Acta Entomol. Sin.*, 46 (2) : 250 – 253. [刘译文, 韩召军, 2003. 羧酸酯酶和乙酰胆碱酯酶在褐飞虱对马拉硫磷抗性发展中的作用 (英文). *昆虫学报*, 46(2) : 250 – 253]
- Luo WC, Zhang Q, 2003. The effects of sophora alopecuroids alkaloids on metabolic esterases of the diamondback moth. *Acta Entomol. Sin.*, 46 (1) : 122 – 125. [罗万春, 张强, 2003. 苦豆子生物碱对小菜蛾体内部分杀虫剂代谢酶活性的影响. *昆虫学报*, 46(1) : 122 – 125]
- Melanson SW, Yun CH, Pezzementi ML, 1985. Characterization of acetylcholinesterase activity from *Drosophila melanogaster*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 81C : 87 – 96.
- Nyffeler M, Bentz G, 1984. Spiders in natural pest control : A review. *J. Appl. Entomol.*, 103 : 321 – 339.
- Tang ZH, 1993. Pesticides Resistance of Pests and its Management. Beijing : China Agriculture Press. 208 – 231. [唐振华, 1993. 昆虫抗药性及其治理. 北京 : 中国农业出版社. 208 – 231]
- Xu G, Bull DL, 1994. Acetylcholinesterase from the horn fly (Diptera : Muscidae) : Distribution and purification. *J. Econ. Entomol.*, 87 : 20 – 26.
- Yao HW, Jiang CY, Ye GY, Cheng JA, 2001. Distribution patterns of carboxylesterase and acetylcholinesterase in the white-backed planthopper. *Journal of Zhejiang University*, 27 (1) : 5 – 10. [姚洪渭, 蒋彩英, 叶恭银, 程家安, 2001. 白背飞虱羧酸酯酶与乙酰胆碱酯酶体躯与亚细胞分布特征. *浙江大学学报*, 27(1) : 5 – 10]

(责任编辑 : 黄玲巧)